

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕСНОЙ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ SDSS J162256

Н. Р. Деминова¹, В. В. Шиманский¹, Н. В. Борисов², И. Ф. Бикмаев¹,
М. М. Габдеев²

¹*Казанский (Приволжский) федеральный университет,*

²*Специальная астрофизическая обсерватория РАН*

В работе исследовано оптическое излучение молодой предкатаклизмической переменной (ПП) SDSS J162256. Спектроскопические наблюдения выполнены на телескопе БТА САО РАН, фотометрические — на РТТ-150. Проведено численное моделирование теоретических кривых блеска и спектров. Измеренные наборы лучевых скоростей проанализированы с учетом возможного влияния эффектов отражения. На основе комплексного анализа наблюдательных данных определены фундаментальные параметры SDSS J162256. Полученные результаты подтверждают ранее сделанный вывод, что метод определения масс компонент ПП путем моделирования кривых лучевых скоростей эффективен только для систем со значительными эффектами отражения.

RESEARCH OF THE CHARACTERISTICS OF THE CLOSE BINARY SYSTEM SDSS J162256

N. R. Deminova¹, V. V. Shimansky¹, N. V. Borisov², I. F. Bikmaev¹,
M. M. Gabdееv²

¹*Kazan (Volga region) Federal University,* ²*Special Astrophysical Observatory RAS*

In this work, the optical radiation of the young pre-cataclysmic variable (PV) SDSS J162256 was investigated. Spectroscopic observations were carried out at BTA SAO RAS, photometric observations were carried out at RTT-150 telescope. Numerical modeling of theoretical light curves and spectra was done. The measured sets of radial velocities were analyzed taking into account the possible influence of reflection effects. The fundamental parameters of SDSS J162256 were determined based on a comprehensive analysis of observational data. It was shown that the previously proposed method for determining the masses of the PV components by modeling of the radial-velocity curves is effective only for systems with significant reflection effects.

Введение

К предкатаклизмическим переменным (ПП) относят разделенные тесные двойные системы (ТДС), однократно прошедшие стадию общей оболочки; ПП были выделены в отдельную группу Риттером в 1986 г. [1]. Они делятся на три группы в зависимости от состояния главных компонент: молодые ПП с sdO-субкарликами ($t < 10^6$ лет), молодые ПП с sdB-субкарликами ($t < 10^7$ лет) и старые ПП ($t > 10^7$ лет) [2]. Группа молодых ПП с sdB-субкарликами (звезды типа HW Vir) в начале XXI в. оставалась слабо изученной из-за методических трудностей их обнаружения и анализа. Однако программы поиска двойных систем с sdB-субкарликами расширили ее до нескольких десятков объектов. В результате встал вопрос об их методически корректном изучении и определении характеристик. В данной работе исследована тесная двойная система SDSS J162256, принадлежащая к типу HW Vir [3]. Шаффенрот и др. [4] провели всесторонний анализ наблюдений SDSS J162256

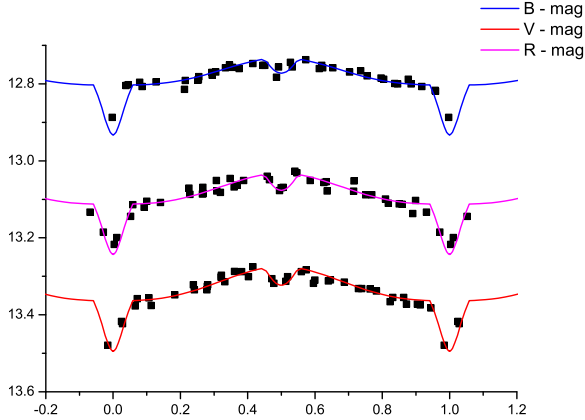
и определили ее параметры. Однако моделирование эффектов отражения в работе Шаффенрот и др. [4] выполнено в чернотельном приближении, что может привести к ошибкам параметров системы. Поэтому в нашей работе мы выполнили повторный анализ излучения SDSS J162256 с применением метода моделей атмосфер.

Наблюдения

Одновременные BVR фотометрические наблюдения SDSS J162256 проведены в 2017 г. на телескопе PTT-150 с помощью прибора TFOSC и ПЗС-матрицы CCD-447. Для их обработки использовался компьютерный пакет Maxim DL. В качестве объектов сравнения выбирались вторичные стандарты близкой яркости и цвета на ПЗС-изображениях. Сравнение блеска звезд в поле матрицы показало, что ошибки дифференциальной фотометрии получились равными $\delta m \approx 0.01^m$ в B, R и V полосах. Спектроскопические наблюдения SDSS J162256 проводились в 2017 г. на БТА CAO РАН с применением редуктора светосилы первичного фокуса SCORPIO [5]. Мы использовали данные, полученные с гризмой VPHG1200g (1 200 штр./мм) и CCD-приемником EEV 42-40 ($2\,048 \times 2\,048$ пикс. размером 13.5×13.5 мкм), обеспечивающими спектральное разрешение $\Delta\lambda = 5.0 \text{ \AA}$ в интервале длин волн $\lambda\lambda\,4\,050\text{--}5\,850 \text{ \AA}$. Данные наблюдения проведены при удовлетворительных астроклиматических условиях с размером изображений звезд $2.0''$, зенитные расстояния не превосходили 20° . Длительность экспозиций составила 300 с, что сделало возможным получение отношения сигнал/шум $S/N = 48$. Продолжительность наблюдений составила 102 мин и охватывала все фазы орбитального периода.

Моделирование и анализ кривых блеска и спектров

Полученные наблюдательные значения блеска SDSS J162256 относятся к разным фазам орбитального периода системы. Для перехода от шкалы гелиоцентрических юлианских дат наблюдений HJD к шкале фаз $\varphi \equiv E$ использовалась эфемерида SDSS J162256, предложенная в работе [4]. В орбитальных кривых блеска SDSS J162256 выделяются три участка переменности: главный минимум обусловлен затмением холодной звездой части поверхности sdB-субкарлика; внезатменное изменение блеска связано с изменением условий видимости горячего пятна на поверхности вторичной компоненты, а вторичное затмение отражает его частичное закрытие sdB-субкарликом. В спектрах наблюдаются линии H, HeI, HeII, CIII, NIII, OII, MgII, SiII, SiIV, SIII. Данные абсорбционные линии относятся к излучению только sdB-субкарлика, т. е. главной компоненты. Отсутствие информации о собственном излучении вторичной компоненты затрудняет нахождение фундаментальных параметров. Однако совместный анализ кривых блеска, спектров и лучевых скоростей позволяет с достаточной точностью определить основные параметры системы. В целом качественный анализ оптического излучения SDSS J162256 подтверждает ее принадлежность к молодым III с sdB-субкарликами. Одновременное теоретическое моделирование кривых блеска и спектров SDSS J162256 проводилось на программном комплексе SPECTR с учетом эффектов отражения по методике Сахибуллина и Шиманского [6]. Параметры и химический состав атмосферы sdB-субкарлика получены при согласовании профилей линий H и HeI в теоретическом и наблюдаемом спектрах в фазах, близких к главному затмению. В результате найдены следующие значения: $T_{eff} = 30\,800 \text{ K}$, $\log g = 5.75$, $[He/H] = -0.62$. (В статье [4] вычислены следующие параметры: $T_{eff} = 29\,000 \text{ K}$, $\log g = 5.65$.) Данные параметры в целом характерны для умеренно горячих sdB-субкарликов с наличием эффектов стратификации в их атмосферах.



Наблюдаемые кривые блеска (черные квадратики) и теоретические кривые блеска в полосах B, V, R (сверху вниз)

Анализ лучевых скоростей и результаты

Наличие в спектрах SDSS J162256 абсорбционных линий sdB-субкарлика позволяет измерить лучевые скорости только его орбитального движения. Их определение выполнено с использованием метода кросс-корреляции. Аппроксимация кривых лучевых скоростей проводилась методом градиентного спуска для модели круговой орбиты с применением скрипта, написанного в программном пакете Origin. Полученные фазовые кривые лучевых скоростей по форме отличаются от синусоиды, характерной для круговой орбиты. Однако для ПП возможны искусственные искажения кривых лучевых скоростей из-за эффектов отражения и несферичности компонент. Найденные амплитуды изменений V_r по разным линиям HI составляют $K_1 = 48.6 \pm 0.3$ км/с, а по совокупности линий $K_1 = 48.3$ км/с. Совместный анализ кривых блеска систем типа HW Vir в полосах BVR позволят одновременно найти пять параметров: температуры T_{eff} и радиусы R компонент, а также угол наклона орбиты i . Однако эффективная температура вторичной компоненты SDSS J162256 практически не влияет на кривые блеска, и мы зафиксировали ее как $T_{eff} = 3250$ К. Напротив, температура sdB-субкарлика оказывает главное влияние на амплитуду эффектов отражения. Поэтому для минимизации ошибок определения остальных параметров мы использовали ее значение $T_{eff} = 30800$ К, независимо полученное из анализа спектра (см. выше). В результате согласование модельных и наблюдаемых кривых блеска проводилось нами с варьированием радиусов компонент и угла наклона орбиты. При этом согласовании учитывалось, что амплитуда эффектов отражения определяется в основном радиусом вторичной компоненты, а амплитуды и ширина затмений — отношением R_1/R_2 и значением i . В результате достигнуто согласование кривых блеска во всех полосах при значениях: $i = 70.0 \pm 0.3^\circ$, $R_1 = 0.195 \pm 0.01 R_\odot$, $R_2 = 0.093 \pm 0.01 R_\odot$. Представленные ошибки параметров обусловлены ошибками наблюдений. На рисунке представлены кривые блеска с результатами моделирования в трех полосах.

Значения массы вторичной компоненты $M_2 = 0.065 \pm 0.001 M_\odot$ и большой полуоси орбиты $a = 0.580 \pm 0.01 R_\odot$ вычислены из найденной функции масс с принятием для главной компоненты оценки массы $M_1 = 0.47 M_\odot$, считающейся стандартной для всех sdB-субкарликов на постгоризонтальной ветви [7]. Анализируя условия применимости новой методики, Шиманский и др. [3] предположили, что она эффективна для систем с температурами главных компонент выше $T_{eff} = 32\,000$ К. Однако наш анализ излучения NSVS 14256825 [8] с горячей главной компонентой ($T_{eff} = 40\,000$ К) показал невозможность применения данной методики для систем со слабыми эффектами отражения ($\Delta m < 0.^m3$). Поэтому при исследовании последующих систем типа HW Vir и определении их параметров мы используем фиксированное значение массы главной компоненты $M_1 = 0.47 M_\odot$. Исследование [8] показало, что в этом случае анализ фотометрических и спектроскопических наблюдений таких систем позволяет однозначно найти остальные параметры и обеспечить методическую однородность их определения. Результаты данной работы полностью подтверждают предположения и выводы работы [8].

Работа В. В. Шиманского велась при финансовой поддержке РФФИ и Правительства РТ в рамках проекта 18-42-160003. Работа И. Ф. Бикмаева финансировалась за счет средств субсидии 671-2020-0052, выделенной КФУ для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности.

Библиографические ссылки

- [1] *Ritter H.* Precataclysmic binaries // *Astron. Astrophys.* — 1986. — Vol. 169. — P. 139–148.
- [2] *Shimanskii V. V., Borisov N. V., Sakhibullin N. A., Surkov A. E.* The Nature of the Unique Precataclysmic Variable V664 Cas with Two-Peaked Balmer Lines in Its Spectrum // *Astron. Rep.* — 2004. — Vol. 48. — P. 563–576.
- [3] *Shimanskii V. V., Yakin D. G., Borisov N. V., Bikmaev I. F.* Analysis of reflection effects in HS 2333+3927 // *Astron. Rep.* — 2012. — Vol. 56. — P. 867–877.
- [4] *Schaffenroth V., Geier S., Heber U. et al.* Binaries discovered by the MUCHFUSS project. SDSS J162256.66+473051.1: An eclipsing subdwarf B binary with a brown dwarf companion // *Astron. Astrophys.* — 2014. — Vol. 564. — P. A98.
- [5] *Afanasev V. L., Moiseev A. V.* The SCORPIO Universal Focal Reducer of the 6-m Telescope // *Astron. Letters.* — 2005. — Vol. 31. — P. 194–204.
- [6] *Ivanova D. V., Sakhibullin N. A., Shimanskii V. V.* A Method for Modeling the Formation of CaII Lines in the Spectra of Irradiated Stellar Atmospheres // *Astron. Rep.* — 2002. — Vol. 46. — P. 390–405.
- [7] *Heber U.* Hot Subluminous Stars // *Public. Astron. Soc. Pacific.* — 2016. — Vol. 128. — P. 082001.
- [8] *Deminova N. R., Shimansky V. V., Borisov N. V. et al.* Research of Precataclysmic Variables with Radius Excesses // *ASP Conf. Ser.* — 2017. — Vol. 510. — P. 420–423.